Desenvolvimento de um Guia de Medição e Verificação do Desempenho Energético

Capítulo 2 – Estado da arte

Autoria: Tiago José de Castro Guedes Lopes Armando

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1. Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

A Medição e Verificação é um tema debatido há vários anos, onde em meados da década de 1990 os investimentos em projectos de eficiência energética foram menores do que se desejava, isto devido ao elevado grau de incerteza e risco associados com as futuras poupanças de energia [5]. Estas inconsistências levaram à necessidade da criação de um protocolo M&V, que inicialmente apresentava múltiplas abordagens de engenharia relativamente à eficiência de uma instalação e mediação da poupança.

Com o aparecimento e desenvolvimento das empresas de serviços de energia (ESE) e as incongruências entre as várias abordagens das primeiras tentativas em estabelecer um protocolo, foi fundamental a participação e cooperação entre as agências dos governos e especialistas nas indústrias de eficiência energética para uma normalização das metodologias da Medição e Verificação (M&V). Assim, surgiu uma primeira versão do Protocolo Norte-Americano de Medição e Verificação de Energia (*North American Energy Measurement and Verification Protocol*), que mais tarde veio a ser alterada, expandida e intitulada de Protocolo Internacional para a Medição e Verificação de Performance – PIMVP (*International Performance Measurement and Verification Protocol* – IPMVP), sendo actualmente a versão de 2009 a mais recente [1]. O protocolo teve como objectivo estabelecer os procedimentos gerais da forma de medição, cálculo e reporte das poupanças obtidas em projectos de eficiência energética, definiu ainda que estas poupanças devem ser analisadas de acordo com um plano de Medição e Verificação baseado em quatro opções (A, B, C e D).

No ano de 2000 foram introduzidas novas regras ao IPMVP quanto à qualidade ambiental e mais tarde entre 2006/2007 devido às advertências dos efeitos climáticos, estas questões tiveram uma elevada importância principalmente no apelo à redução das emissões de gases de CO_2, diminuição do consumo de combustíveis fosseis e uma maior eficiência energética.

Juntamente com o IPMVP surgiu um protocolo designado de *Federal Energy Meanagement Protocol* (FEMP), com a finalidade de reduzir os custos de energia apenas em projectos de edifícios públicos por forma a torna-los mais eficientes.

A aplicação e os aperfeiçoamentos constantes do IPMVP ao longo dos anos demonstram o seu sucesso na determinação de pontos críticos num projecto de eficiência energética, onde a flexibilidade do protocolo permite definir um Plano M&V exclusivo mediante os objectivos de cada projecto.

2.2. Medição e Verificação

Na medição e verificação são utilizados métodos por forma a determinar a poupança através da implementação de medidas que melhoram a eficiência energética. Esta poupança não pode ser medida directamente e portanto é obtida pela comparação do consumo medido antes (consumo de referência de energia) e depois (consumo do período de reporte) da execução das acções de melhoria, fazendo ajustes adequados tendo em conta possíveis alterações nas condições [6].

As medidas que melhoram a eficiência energética são designadas por medidas de racionalização de energia (MRE) que quando devidamente aplicadas permitem obter uma redução do consumo e consequentemente a diminuição nos custos energéticos da instalação. Sendo o principal desafio da M&V equilibrar custos com retorno económico, é necessário realizar investimentos em acções de monitorização de consumos por forma a obter informação precisa que implicará um custo adicional e que deverá ser tido em conta aquando da escolha da metodologia M&V.

As técnicas de M&V podem ser utilizadas pelos proprietários da instalação ou pelos investidores do projecto de eficiência energética para alcançar nomeadamente:

- **Aumentar a poupança de energia -** A determinação exacta da poupança de energia fornece aos proprietários e gestores da instalação informação valiosa acerca das suas medidas de racionalização de energia (MRE). Esta informação permite criar ajustes com o intuito de melhorar a poupança, assegurando uma maior duração da mesma.
- **Documentar transacções financeiras -** Para alguns projectos, a poupança da eficiência energética é a base de pagamentos financeiros baseados no desempenho energético e/ou a garantia num contrato de desempenho energético. Um Plano de M&V bem definido e implementado pode ser a base para documentar o desempenho energético de forma transparente e sujeito a uma verificação independente.
- **Aumentar o financiamento para projectos de eficiência -** Um bom plano de M&V proporciona credibilidade e transparência dos relatórios sobre projecções e resultados dos investimentos de eficiência. Deste modo há uma maior confiança por parte dos investidores e patrocinadores nos projectos de eficiência energética, aumentando assim as suas possibilidades de serem financiados.
- **Aumentar o valor dos créditos de redução de emissão -** Explicar as reduções de emissão acrescenta um valor adicional aos projectos de eficiência. A utilização de um plano de M&V para determinar a poupança de energia melhora relatórios de redução de emissão em comparação com relatórios feitos sem plano de M&V [1].
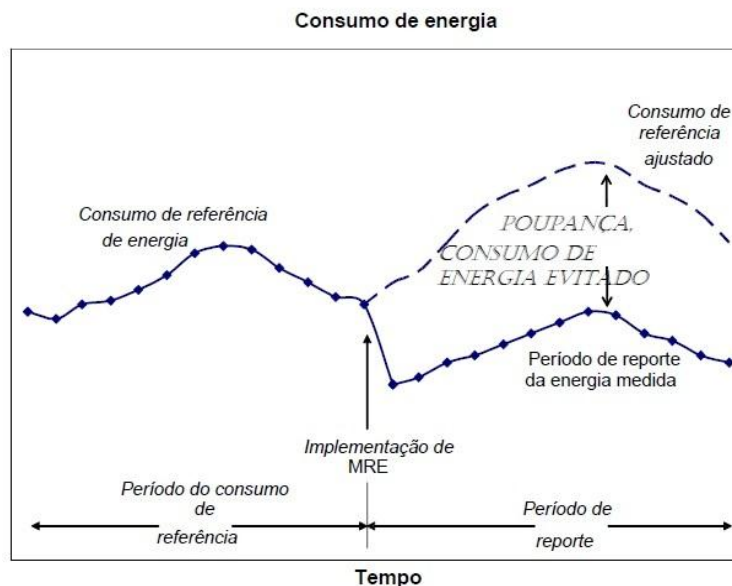
Figura 2.1 – Histórico de energia e respectiva poupança de consumo de energia evitado [1].

O processo de determinação de poupança, como é mostrado na figura 2.1, consiste numa análise prévia dos consumos de energia que servem como base para a implementação das MRE. É esta informação que permite determinar quais as medidas a adoptar com o intuito de aumentar os níveis de eficiência energética no projecto.

A poupança pode ser assim calculada pela diferença entre o valor da medição no período de reporte e o consumo de referência que se pressupõem contínuo para o mesmo período. Contudo, a ocorrência de alterações na utilização de energia não relacionadas directamente com a implementação das MRE, quer por factores externos (condições meteorológicas) ou por mudanças periódicas características ao consumo (redução dos níveis de produção), devem ser tomadas em consideração sendo necessário a realização de um ajuste no consumo do período de referência. Deste modo, a comparação dos consumos antes e depois da implementação da MRE é feita de acordo com a seguinte equação 2.1:

$$Poupança = \left(Consumo_{período\ de\ referência}\right)_{Ajustado} - \left(Consumo_{período\ de\ Reporte}\right) \quad (2.1)$$

O termo "Ajustado" nesta equação é usado para ajustar o consumo dos períodos de consumo de referência e de reporte sob um conjunto comum de condições. Este termo distingue relatórios de poupança reais de uma simples comparação de custo ou utilização antes e depois da implementação de uma medida de racionalização de energia (MRE). Simples comparações de custos de empresas do sector energético sem tais ajustes reportam apenas alterações de custo e não reportam o verdadeiro desempenho energético de um projecto. Para reportar adequadamente a "poupança" os ajustes devem explicar as diferenças nas condições entre o consumo de referência e os períodos de reporte [1].

Se consideramos como exemplo um caso simples onde temos uma curva de consumo de energia anual plana e constante ao longo do tempo, após a implementação de acções de melhoria da eficiência energética, é nos possível obter uma diminuição do consumo de energia sempre constante no tempo tal como é mostrado na figura 2.2 [6]:
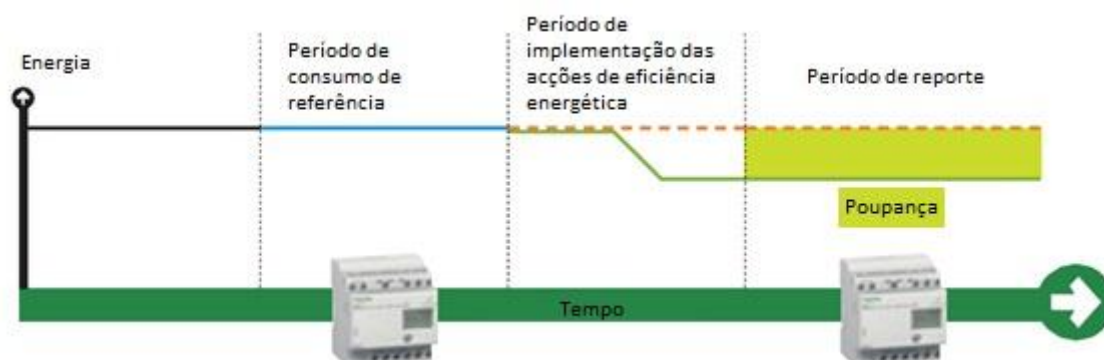
Figura 2.2 — Exemplo de histórico de energia [6].

Na realidade as curvas de consumo têm um perfil bastante semelhante à figura 2.3, onde os picos e depressões geralmente se repetem, não de uma forma exacta mas semelhante ao período de referência [6].

Figura 2.3 — Histórico de energia real [6].

2.2.1. Período de consumo de referência

O período de consumo de referência é o período que estabelece todas as actividades de funcionamento do sistema ou instalação. É caracterizado também por ser o período de base que permite definir a necessidade de adopção de medidas de racionalização de energia.

O período de consumo de referência deve ser determinado cuidadosamente de modo a abranger os seguintes objectivos:

- Representar todos os modos de funcionamento da instalação. Este período deve cobrir um ciclo de funcionamento completo desde o consumo máximo de energia ao consumo mínimo de energia.
- Representar relativamente bem todas as condições de funcionamento de um ciclo de funcionamento normal. Por exemplo, apesar de um ano poder ser escolhido como o período de consumo de referência, se faltarem dados de um mês durante o ano seleccionado, dados comparáveis para o mesmo mês de um ano diferente

devem ser empregues para garantir que o registo do consumo de referência não representa por baixo as condições de funcionamento do mês em falta.

- Incluir apenas períodos de tempo para os quais todos os factores, fixos e variáveis, que regem a energia são conhecidos acerca da instalação.
- Coincidir com o período imediatamente anterior ao compromisso de levar a cabo a instalação da MRE. Períodos muito anteriores no tempo poderão não reflectir as condições que existiam antes da aplicação da MRE que se pretende medir [1].

2.2.2. Período de reporte

O utilizador dos relatórios de poupança deve determinar a duração do período de reporte. Este período deve englobar pelo menos um ciclo de funcionamento normal do sistema ou instalação, para caracterizar completamente a eficácia da poupança em todos os modos de funcionamento normais.

Em alguns projectos o período de reporte da poupança pode ser concluído após um período que pode ir de uma leitura instantânea a um ano ou dois.

A duração de qualquer período de reporte deve ser determinada com a devida consideração pela duração da MRE e a probabilidade de degradação da poupança originalmente obtida ao longo do tempo.

Independentemente da duração do período de reporte, o sistema de contagem pode continuar a fornecer informação em tempo real dos dados adquiridos aos colaboradores responsáveis pela gestão da instalação.

Se reduzir a frequência da medição da poupança após a prova inicial do desempenho energético, outras actividades de monitorização no local podem ser intensificadas para garantir que a poupança se mantém [1].

2.2.3. Fronteira de Medição

A fronteira de medição estabelece o limite fictício da aplicação da MRE, onde todos os consumos de energia dos equipamentos ou sistema em análise devem ser medidos ou estimados. Desta forma é perceptível que a poupança pode ser determinada para toda a instalação ou simplesmente uma parte dela, dependendo dos objectivos a reportar.

Geralmente os objectivos de maior interesse na definição da fronteira de medição estão relacionados:

- Caso se pretenda apenas gerir o equipamento afectado pelo programa de poupança então deve-se estabelecer uma fronteira de medição em torno desse equipamento. A opção do IPMVP a usar será a opção A ou B.
- Caso se pretenda gerir o desempenho energético de toda a instalação, os contadores que medem o fornecimento de energia de toda a instalação podem ser usados para avaliar o desempenho energético e a poupança. A opção do IPMVP a usar será a opção C.

- Caso os dados do período de consumo de referência ou do período de reporte não são de confiança ou não estão disponíveis, deve ser utilizado um programa de simulação calibrada que permita determinar os dados energéticos em falta, para apenas uma parte ou toda a instalação. A opção do IPMVP a usar será a opção D [1].

2.3. Objectivos e âmbito do IPMVP

O IPMVP é um protocolo de orientação que fornece um quadro conceptual em medição, computação e poupanças conseguidas por projectos de eficiência energética. Define alguns termos-chave e descreve problemas que devem ser considerados no desenvolvimento de um Plano M&V, porém, mas não fornece detalhes específicos quanto às medidas ou tecnologias.

Descreve procedimentos de determinação de abordagens de M&V através da avaliação de planos e relatórios por forma a estabelecer uma base de poupança de energia durante o contrato [7].

A adesão deste protocolo requer a realização de um Plano M&V exclusivo mediante as características do projecto onde se pretende implementar. Devem ser estabelecidas as opções, métodos de medição e de análise, procedimentos da garantia da qualidade e a(s) pessoa(s) responsáveis pela M&V [1].

O IPMVP promove investimentos eficazes através das seguintes actividades:

- Documenta termos comuns e métodos para avaliar o desempenho energético de projectos de eficiência para clientes, fornecedores e financeiros. Alguns destes termos e métodos podem ser utilizados em acordos de projectos, embora o IPMVP não disponibilize linguagem contratual.
- Fornece métodos, com diferentes níveis de custo e exactidão, para determinar poupanças para toda a instalação ou para medidas individuais de racionalização de energia.
- Específica, o conteúdo de um Plano de M&V que adere aos princípios fundamentais da M&V definidos no protocolo. Deve ser desenvolvido um Plano de M&V para cada projecto por um profissional qualificado.
- Possui uma aplicação de grande variedade de instalações, incluindo edifícios novos, edifícios já existentes e processos industriais [1].

2.3.1. Plano de M&V

O Plano M&V é um documento que estabelece procedimentos específicos de medição e métodos de verificação com o objectivo primordial de obtenção de poupanças em projectos de eficiência energética [7]. O plano deve ser elaborado de acordo com as características da instalação e dos equipamentos ou sistemas que se pretendem aumentar níveis de eficiência através da implementação das MRE. Deste modo, é conveniente o registo dos dados de consumos de referência e dos detalhes das MREs, isto no caso de existir alguma alteração das condições futuras ou seja necessário proceder à actualização das respectivas medidas [1].

2.3.2. Selecção de uma abordagem M&V

O principal objectivo da medição e verificação consiste em validar os pagamentos ou as garantias de desempenho, onde os custos do próprio procedimento M&V deverá ser inferior ao valor do pagamento ou garantias que estão em risco. Visto isto, a função da M&V não reside necessariamente em reportar um número preciso da poupança de energia, mas sim assegurar que as empresas de serviços de energia (ESE) realizem o seu trabalho de acordo com as condições estabelecidas inicialmente no contrato de desempenho do projecto e que a poupança de energia resultante seja razoavelmente próxima da poupança prevista.

A definição do nível de rigor e precisão da M&V é a base que protege o investimento num projecto e que satisfaz os requisitos legislativos. A consideração detalhada do tipo de M&V beneficia ambas as partes e pode ajudar a mitigar possíveis problemas durante o período de execução.

Geralmente a escolha de um método específico de M&V a aplicar num projecto baseia-se nos seguintes pontos:

- Poupanças energéticas e económicas previstas, bem como os custos do projecto;
- Complexidade das MRE;
- Número de MRE aplicadas numa uma única instalação;
- Incerteza ou risco de poupanças a serem alcançadas.

Portanto, o esforço que é necessário para a verificação do eventual potencial de desempenho de um projecto e o seu desempenho real, variam para cada projecto.

O contrato e/ou plano M&V especifico de um projecto, deve ser preparado com base nos requisitos M&V necessários, bem como análises de dados e custos. Desta forma, a escolha de opções, técnicas e metodologias M&V a utilizar devem ser estabelecidas de acordo com o contrato de desempenho energético de cada projecto [7].

2.3.3. Determinação das poupanças

Implementadas as MRE, as poupanças de energia são determinadas uma única vez, continuadamente ou em intervalos regulares tal como acordado pela ESE e pelo cliente no plano M&V.

A utilização de energia no período de consumo de referência, no período de reporte e de energia poupada pode ser determinada utilizando uma ou mais das seguintes técnicas de M&V:

- Cálculos de engenharia;
- Medição e monitorização;
- Facturas da empresa do sector energético ou do fornecedor de combustível;
- Simulações computacionais.

O cálculo das poupanças normalmente é dependente da opção de M&V e método escolhido para a medida. Por vezes torna-se conveniente o uso combinado de opções de M&V para se ajustar um conjunto de medidas, por exemplo, num edifício com várias medidas é vantajoso a escolha integrada das opções A e B [7].

2.4. Opções do IPMVP

2.4.1. Visão Geral das Opções do IPMVP

As quantidades de energia podem ser medidas por uma ou mais das seguintes técnicas:

- Facturas da empresa do sector energético ou do fornecedor de combustível, ou leitura dos contadores da empresa do sector energético.
- Contadores especiais que isolam a MRE ou parte da instalação do resto da instalação.
- Medições separadas de parâmetros usados no cálculo do consumo de energia.
- Medição de provas de substituição de consumo de energia.
- A simulação por computador que é calibrada com alguns dados de desempenho energético reais para o sistema ou instalação a ser modelados [1].

O IPMVP oferece quatro opções de Medição e Verificação (A, B, C e D) que correspondem a abordagens diferentes para os projectos de eficiência energética. Significa por isso que seguem orientações para determinar a poupança de energia com diferentes níveis de incerteza, de custo e metodologia.

A opção seleccionada resulta das condições apresentadas, nomeadamente o local de fronteira de medição (ver secção 2.2.3). Se o que se pretende é determinar a poupança ao nível da instalação, então a opção C ou D poder apresentar vantagem, no entanto, se apenas se pretende considerar o desempenho energético da própria MRE já uma técnica de medição isolada da MRE pode ser a mais ajustada (opção A, B ou D) [1].

As abordagens M&V estão divididas em dois tipos: medição isolada da MRE e medição global da instalação. Os métodos de medição isolada apenas se preocupam com os equipamentos afectados ou com os sistemas independentes do resto da instalação. No caso dos métodos de medição global o uso da energia total é bastante importante, já a performance dos equipamentos é irrelevante. Assim, a escolha da opção correcta implica muitas considerações incluindo o local da fronteira de medição, que deverá ponderar toda a energia utilizada como demonstra a figura 2.4:
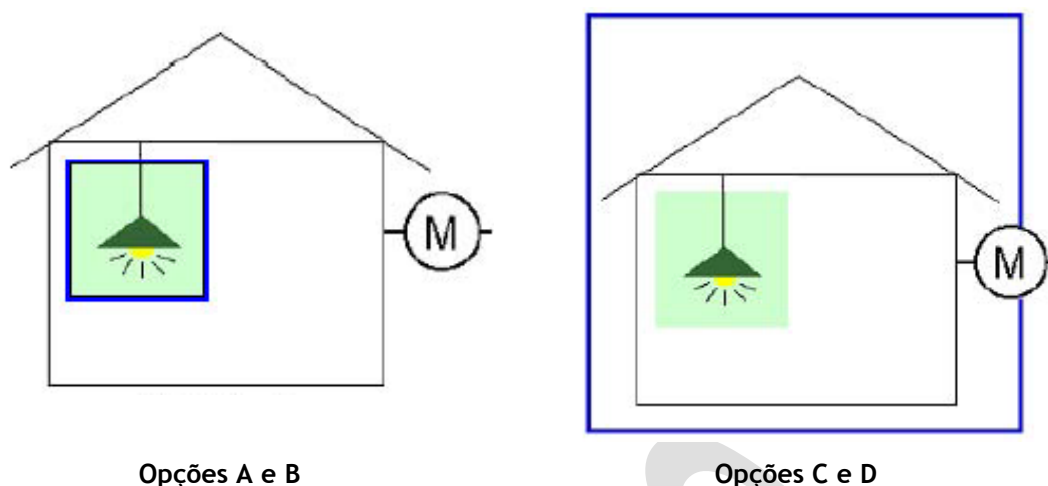
Figura 2.4 — Exemplos da fronteira de medição [7].

A escolha das opções A, B ou D é quando estamos perante situações onde apenas é necessário ter em conta o desempenho energético isolado da própria MRE, já as opções C ou D permitem determinar a poupança ao nível da instalação. É de notar que a opção D pode ser aplicada em ambos os casos, mas de uma maneira geral, esta opção deverá ser escolhida em metodologias de medição global.

O seguinte exemplo demonstra como a opção A deverá ser escolhia: “se um valor de energia for conhecido com precisão adequada ou no caso de ser mais dispendioso medir esse mesmo valor, então a medição de energia pode não ser necessária, logo, nestes casos o ideal será realizar estimativas a partir de alguns parâmetros da MRE.” [1].

2.4.2. Opção A e B: Medição isolada da MRE

2.4.2.1. Opção A: medição dos parâmetros chave

A opção A consiste numa abordagem destinada à melhoria isolada onde parâmetros chave (p. ex. capacidade instalada, procura) são medidos instantaneamente ou a curto prazo e os factores operacionais (p. ex. número de horas de funcionamento da iluminação) são baseados em dados históricos ou em medições a curto prazo.

Quando um parâmetro é constante e não se espera que venha a ser influenciado pela implementação da MRE, então a sua medição durante o período de reporte é suficiente. A medição de um parâmetro constante no período de reporte pode também ser considerada uma medição do seu valor de consumo de referência [1].

Sempre que um parâmetro, conhecido por variar independentemente, não for medido na instalação durante os períodos de consumo de referência e de reporte, o parâmetro deve ser tratado como estimativa. Sendo assim, é necessário ter especial atenção com a revisão da concepção e instalação para garantir que as estimativas são realistas, realizáveis e baseadas em equipamentos que devem de facto produzir a poupança prevista.

Durante o período de reporte, a instalação deve ser inspeccionada para verificar a existência permanente do equipamento e o seu funcionamento adequado, bem como a sua

manutenção. Estas inspecções permitem garantir assim a continuação do potencial parar criar a poupança prevista e validar os parâmetros estimados [1].

Uma das vantagens da opção A é que possui um vasto número de aplicações, contudo a certeza desta opção é inversamente proporcional à complexidade do caso em estudo. Assim, o grau de certeza da poupança estimada é tanto melhor quanto mais simples for a situação em análise. Esta poupança é determinada pelos parâmetros chave de medição como a capacidade, eficiência, ou níveis de operação de sistema antes e depois das acções de melhoria.

2.4.2.1.1. Melhores aplicações da opção A

A determinação da poupança com a opção A pode ser menos dispendiosa do que relativamente às outras opções, considerando que o custo de estimar um parâmetro é muitas vezes significativamente menor do que o custo da medição. Visto isto, as melhores aplicações desta opção são:

- A estimativa de parâmetros chave pode evitar ajustes não periódicos difíceis, no aparecimento de alterações futuras dentro da fronteira de medição.
- A incerteza criada pelas estimativas é aceitável.
- A eficácia contínua da MRE pode ser avaliada por uma simples inspecção de rotina dos parâmetros chave.
- É uma opção menos dispendiosa do que nos casos onde é necessário medição (opção B) ou simulação (opção D) [1].

2.4.2.2. Opção B: medição de todos os parâmetros

A opção B é destinada a medidas de racionalização de energia com um perfil de carga variável. Tanto os parâmetros chave como os factores operacionais são medidos em curto prazo, continuamente em todo o período do contrato ao nível do equipamento ou do sistema. Requer assim a medição de todas as quantidades de energia (período de consumo e de reporte), ou de todos os parâmetros necessários para calcular a energia [1].

A poupança criada pela maior parte dos tipos de MRE pode ser determinada através da opção B, no entanto, o grau de dificuldade e os custos aumentam em função da complexidade da medição. A frequência de medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas na poupança e da duração do período de reporte [1].

2.4.2.2.1. Melhores aplicações da opção B

A opção B deverá ser aplicada nas seguintes situações:

- Os contadores acrescentados para fins de isolamento serão empregues para outros fins, tal como para informação operacional ou a facturação locatário.
- A medição de todos os parâmetros é menos dispendiosa do que a simulação (opção D).
- A poupança ou as operações dentro da fronteira de medição são variáveis [1].

2.4.3. Opção C: Toda a instalação

A opção C envolve toda a instalação, bem como a análise de dados e procedimentos que permitam avaliar a melhoria do projecto [7]. Implica a utilização de contadores da empresa do sector energético, contadores de toda a instalação, ou sub-contadores para avaliar o desempenho energético de toda a instalação [1].

Esta opção permite determinar a poupança de todas as MRE aplicadas à parte da instalação monitorizada pelo contador de energia, onde a fronteira de medição inclui toda a instalação ou uma grande parte desta [1]. A utilização desta opção impossibilita a determinação duma poupança individual dos equipamentos pertencentes ao sistema.

É destinada a projectos onde a poupança esperada é grande comparada com as variações de energia aleatórias ou inexplicáveis que ocorrem ao nível de toda a instalação [1]. Geralmente a poupança deverá estar compreendida entre os 10% a 20% de um consumo de referência (mensal) de energia [7].

As ferramentas de análise de dados poderão ser modelos de regressão multivariáveis, modelos que prevêem os níveis de consumo energia através de variáveis independentes ao projecto, ou técnicas matemáticas simples que permitam realizar comparações. Contudo os modelos de regressão são mais precisos, uma vez que, têm em conta as condições meteorológicas e outras variáveis independentes (parâmetros que mudam regularmente e afectam o consumo de energia da instalação) que as técnicas simples de comparação não possuem [1].

O principal objectivo associado à opção C é a identificação de eventuais mudanças na instalação, que requerem ajustes especialmente quando a poupança é monitorizada por longos períodos. Assim é necessário a realização de inspecções periódicas a todo o equipamento e operações da instalação durante o período de reporte [1].

2.4.3.1. Melhores aplicações da opção C

As melhores aplicações para a opção C são:

- O desempenho energético de toda a instalação será avaliado, não apenas o das MREs.
- Existem muitos tipos de MREs numa instalação.

- As MREs implicam actividades cujo consumo individual de energia é difícil de medir separadamente (formação do operador, melhoramento das paredes ou janelas, por exemplo).
- A poupança é grande comparada com a variação dos dados no consumo de referência, durante o período de reporte.
- Quando as técnicas de medição isoladas de MRE (Opção A ou B) são excessivamente complexas. Por exemplo, quando efeitos interactivos ou interacções entre MREs são substanciais.
- Não são previstas grandes mudanças futuras na instalação durante o período de reporte.
- Um sistema de localização dos factores estáticos pode ser estabelecido para permitir efectuar possíveis ajustes futuros não periódicos.
- Podem-se encontrar correlações razoáveis entre o consumo de energia e outras variáveis independentes [1].

2.4.4. Opção D: Simulação calibrada

A simulação calibrada implica a utilização de *software* de simulação computorizada para prever a energia da instalação (energia de consumo de referência e energia do período de reporte).

A vantagem desta opção como já foi referida anteriormente, é a sua aplicação tanto na melhoria isolada como global. No caso da melhoria isolada, semelhante às opções A e B, pode ser usada para avaliar apenas o desempenho energético de sistemas individuais numa instalação. Visto que o consumo de energia do sistema deve ser isolado do resto da instalação através de contadores apropriados. No caso da melhoria global, é semelhante à opção C no que diz respeito à avaliação do desempenho energético de todas as MREs numa instalação, contudo, a ferramenta de simulação permite também estimar a poupança atribuível a cada MRE num projecto de múltiplas MREs [1].

A opção D consiste assim num modelo de simulação que avalia os níveis de poupança previstos e deverá ser usado em situações como: inexistência ou indisponibilidade de dados de energia do consumo de referência, indisponibilidade ou difícil quantificação dos dados da energia do período de reporte, e quando é pretendido determinar a poupança associada a MREs individuais onde as opções A ou B seriam bastante dispendiosas. É ainda de referir que esta opção é a abordagem principal de M&V para avaliar as inclusões de eficiência energética na concepção de novas instalações [1].

A metodologia tipicamente a seguir pela opção D consiste em cinco passos:

1. Recolha de dados.
2. Teste do modelo de referência com as entradas.
3. Calibração do modelo de referência.
4. Criar a refinar o modelo período de performance.
5. Verificar performance e calcular as poupanças [7].

A poupança é calculada através de uma ou mais estimativas completas do consumo de energia. A precisão da poupança depende do bom desempenho dos modelos de simulação do equipamento e do desempenho energético contabilizado.

A calibração é feita por comparação de um conjunto de dados de calibração (incluem dados de energia medidos, variáveis independentes e factores estáticos) e da previsão de padrões de energia da instalação.

2.4.4.1. Melhores aplicações da opção D

A Opção D é utilizada habitualmente, quando nenhuma outra opção é praticável nas seguintes situações:

- Os dados de energia do consumo de referência ou os dados de energia do período de reporte, mas não ambos, estão indisponíveis ou não são de confiança;
- Existem demasiadas MREs para avaliar, usando as Opções A ou B;
- As MREs implicam actividades difusas, que não podem ser facilmente isoladas do resto da instalação, tal como formação do operador ou melhoramentos das paredes e janelas;
- O desempenho energético de cada MRE será estimado individualmente dentro de um projecto de múltiplas MRE, mas os custos das Opções A ou B são excessivos;
- Interacções entre as MREs ou os efeitos interactivos da MRE são complexos, fazendo com que as técnicas de isolamento das Opções A e B sejam impraticáveis;
- São esperadas grandes alterações futuras na instalação durante o período de reporte, e não há forma de seguir as alterações e/ou avaliar o seu impacto no consumo de energia;
- Um profissional experiente em simulação de energia é capaz de recolher dados de entrada, adequados para calibrar o modelo de simulação;
- A instalação e as MREs podem ser modeladas por *software* de simulação bem documentado;
- O *software* de simulação prevê dados medidos de calibração com uma precisão aceitável;
- Apenas o desempenho energético de um ano é medido, imediatamente após a instalação e acordo do programa de gestão de energia [1].

2.4.5. Opção D: Simulação calibrada

A simulação calibrada implica a utilização de *software* de simulação computorizada para prever a energia da instalação (energia de consumo de referência e energia do período de reporte).

A vantagem desta opção como já foi referida anteriormente, é a sua aplicação tanto na melhoria isolada como global. No caso da melhoria isolada, semelhante às opções A e B, pode ser usada para avaliar apenas o desempenho energético de sistemas individuais numa instalação. Visto que o consumo de energia do sistema deve ser isolado do resto da instalação através de contadores apropriados. No caso da melhoria global, é semelhante à opção C no que diz respeito à avaliação do desempenho energético de todas as MREs numa instalação,

contudo, a ferramenta de simulação permite também estimar a poupança atribuível a cada MRE num projecto de múltiplas MREs [1].

A opção D consiste assim num modelo de simulação que avalia os níveis de poupança previstos e deverá ser usado em situações como: inexistência ou indisponibilidade de dados de energia do consumo de referência, indisponibilidade ou difícil quantificação dos dados da energia do período de reporte, e quando é pretendido determinar a poupança associada a MREs individuais onde as opções A ou B seriam bastante dispendiosas. É ainda de referir que esta opção é a abordagem principal de M&V para avaliar as inclusões de eficiência energética na concepção de novas instalações [1].

A metodologia tipicamente a seguir pela opção D consiste em cinco passos:

6. Recolha de dados.
7. Teste do modelo de referência com as entradas.
8. Calibração do modelo de referência.
9. Criar a refinar o modelo período de performance.
10. Verificar performance e calcular as poupanças [7].

A poupança é calculada através de uma ou mais estimativas completas do consumo de energia. A precisão da poupança depende do bom desempenho dos modelos de simulação do equipamento e do desempenho energético contabilizado.

A calibração é feita por comparação de um conjunto de dados de calibração (incluem dados de energia medidos, variáveis independentes e factores estáticos) e da previsão de padrões de energia da instalação.

2.4.5.1. Melhores aplicações da opção D

A Opção D é utilizada habitualmente, quando nenhuma outra opção é praticável nas seguintes situações:

- Os dados de energia do consumo de referência ou os dados de energia do período de reporte, mas não ambos, estão indisponíveis ou não são de confiança;
- Existem demasiadas MREs para avaliar, usando as Opções A ou B;
- As MREs implicam actividades difusas, que não podem ser facilmente isoladas do resto da instalação, tal como formação do operador ou melhoramentos das paredes e janelas;
- O desempenho energético de cada MRE será estimado individualmente dentro de um projecto de múltiplas MRE, mas os custos das Opções A ou B são excessivos;
- Interacções entre as MREs ou os efeitos interactivos da MRE são complexos, fazendo com que as técnicas de isolamento das Opções A e B sejam impraticáveis;
- São esperadas grandes alterações futuras na instalação durante o período de reporte, e não há forma de seguir as alterações e/ou avaliar o seu impacto no consumo de energia;
- Um profissional experiente em simulação de energia é capaz de recolher dados de entrada, adequados para calibrar o modelo de simulação;
- A instalação e as MREs podem ser modeladas por *software* de simulação bem documentado;

- O *software* de simulação prevê dados medidos de calibração com uma precisão aceitável;
- Apenas o desempenho energético de um ano é medido, imediatamente após a instalação e acordo do programa de gestão de energia [1].

2.4.6. Determinação da melhor opção de M&V do IPMVP

De acordo com o IPMVP, o procedimento de determinação da melhor opção a aplicar num sistema ou instalação com o objectivo de melhor a sua eficiência energética, deverá seguir a figura 2.5:
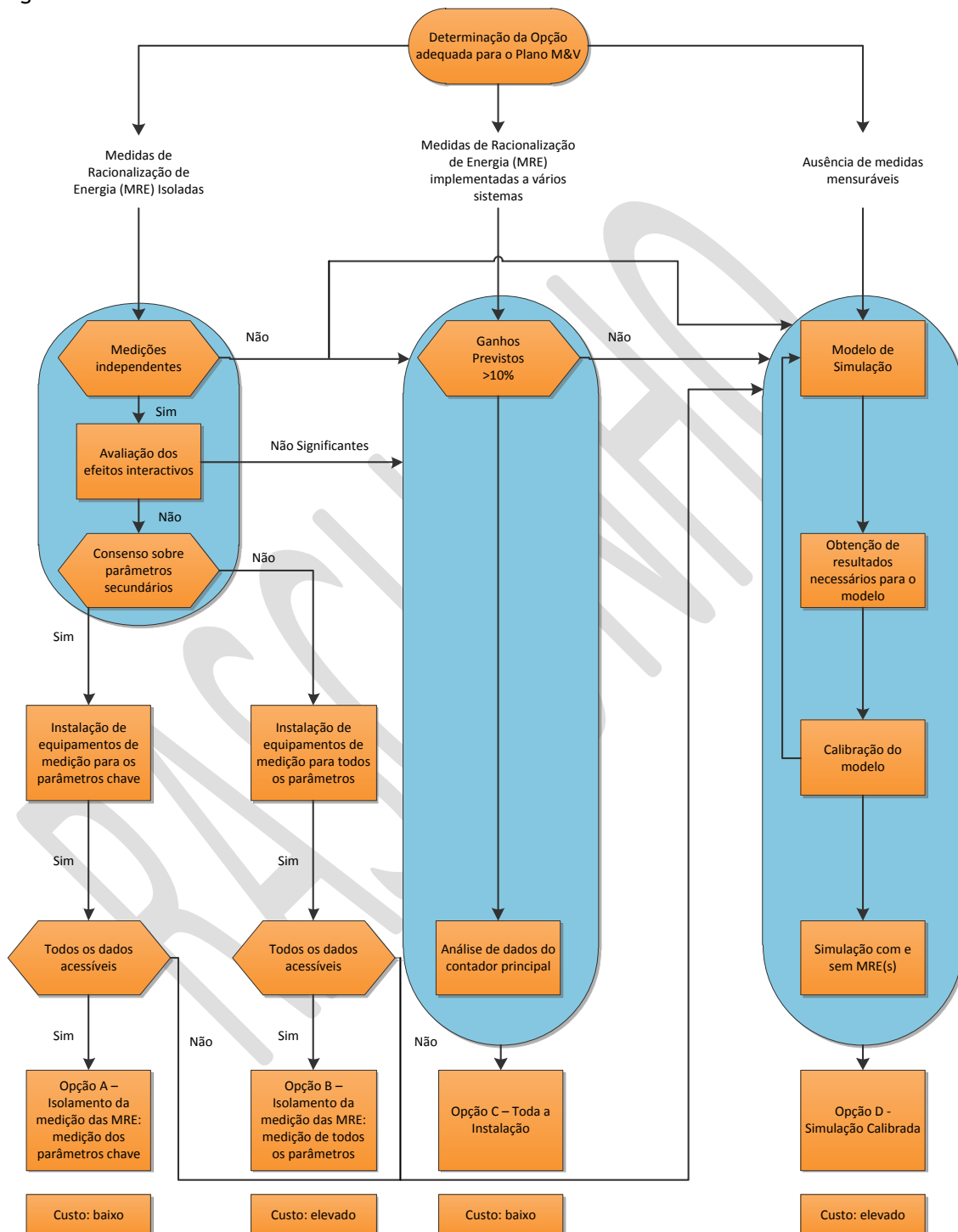
Figura 2.5 — Diagrama da melhor opção segundo o IPMVP [6].

2.5. Detalhes do Plano M&V

O plano M&V consiste num documento que estabelece um conjunto de métodos e técnicas de medição e verificação que são específicas para cada projecto, com o objectivo de determinar as poupanças resultantes de um contrato de desempenho energético. Como a poupança não pode ser medida directamente, uma vez que representa a ausência de consumo de energia, esta é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação da MRE, sendo necessário realizar alguns ajustes devido a eventuais alterações das condições [7].

Para além de fornecer métodos precisos e conservadores na forma de cálculo da poupança de energia, um bom plano M&V deverá ser transparente, consistente e repetível. É de referir ainda que na fase de elaboração do plano M&V, haja a possibilidade de acesso e deslocação às instalações do projecto por parte de um técnico da ESE devidamente identificado. Num contrato a longo prazo, é importante garantir que todos os dados e procedimentos sejam devidamente registados para que possam ser consultados e verificados no futuro [8].

Algumas das actividades de M&V incluem auditorias, medições de energia, recolha e análise de dados, cálculos e finalmente relatórios e procedimentos que garantam os níveis de qualidade [7].

A preparação de um plano M&V é fundamental na determinação da poupança, onde um planeamento prévio assegura que todos os dados necessários para o seu cálculo estejam disponíveis após a implementação das MREs, dentro de um orçamento aceitável [8].

Portanto, o conteúdo de um plano M&V de um projecto deve seguir a seguinte estrutura:

- Fornecer uma visão geral da MRE e actividades de verificação:
  - Objectivos a alcançar com a implementação da MRE.
  - Técnicas utilizadas em cada medição, e se for o caso, qual a opção a adoptar do IPMVP.
  - Identificar principais características físicas das instalações ou sistemas.
- Definir adequadamente as condições do período de consumo de referência:
  - Recolha de informação das condições de medição.
  - Definir as condições de operação do período de consumo de referência, como por exemplo horas de operação e cargas.
  - Detalhar a informação relativa aos procedimentos de análise de dados e modelização matemática.
- Definir todas as actividades no período de reporte e de cálculo da poupança:
  - Especificar procedimentos de análise de dados, duração do período de reporte, parâmetros a medir e a ajustar.
  - Definir os procedimentos de garantia da qualidade das informações recolhidas que permitem validar o plano M&V.
- Detalhar a calendarização de relatórios e procedimentos de M&V periódicos.
- Descrever procedimentos e detalhes de inspecções anuais.
- Descrever os requisitos para relatórios de operação e manutenção.
- Detalhes de como as poupanças serão calculadas:
  - Fornecer justificações e procedimentos para qualquer ajuste de energia no período de consumo de referência ou de reporte.
  - Detalhar como os efeitos interactivos serão tratados [7].

2.5.1. Plano M&V – descrição dos pontos essenciais

Um plano M&V completo segundo o IPMVP, deve incluir a descrição dos seguintes pontos:

	Pontos	Descrição
1	**Objectivo da MRE**	Descrever a MRE, o resultado pretendido e os procedimentos da colocação em serviço, que serão utilizados para verificar o sucesso da implementação de cada MRE. Identificar todas as alterações planeadas às condições do consumo de referência, tal como a regulação da temperatura de um edifício desocupado.
2	**Opção do IPMVP seleccionada e fronteira de medição**	Especificar que opção do IPMVP será usada para determinar a poupança. Identificar a fronteira de medição da determinação da poupança. Descrever a natureza de quaisquer efeitos interactivos para além da fronteira de medição juntamente com os seus efeitos possíveis.
3	**Referência: Período, energia e condições**	Documentar as condições do consumo de referência da instalação e os dados de energia, dentro da fronteira de medição. A documentação do consumo de referência necessária ao plano M&V é fornecida habitualmente quase toda por uma auditoria energética (utilizada para estabelecer os objectivos de um programa de poupança ou os termos de um contrato de desempenho energético). A documentação do consumo de referência exige geralmente auditorias bem documentadas e a extensão desta informação é determinada pela fronteira de medição escolhida ou o propósito da determinação da poupança. Quando os métodos de M&V de toda a instalação são empregues, todo o equipamento e condições da instalação devem ser documentados.
4	**Período de reporte**	Identificar o período de reporte (este período pode ser tão curto como uma medição instantânea durante a colocação em serviço de uma MRE, ou tão longo quanto o tempo necessário para recuperar o custo do investimento da MRE).
5	**Base para o ajuste**	Declarar o conjunto de condições ao qual todas as medições de energia serão ajustadas. As condições podem ser as do período de reporte ou um outro conjunto de condições fixas.

6	**Procedimento de análise**	Especificar os procedimentos exactos de análise de dados, algoritmos e hipóteses a ser usadas em cada relatório de poupança. Para cada modelo matemático usado, reportar todos os seus termos e a gama de variáveis independentes para o qual é válido
7	**Preços de energia**	Indicar os preços da energia que serão empregues para avaliar a poupança, e se for o caso, como a poupança será ajustada se os preços mudarem no futuro.
8	**Especificações dos equipamentos de medição**	Especificar os pontos de contagem e período(s) se a contagem não for contínua. Para os contadores que não são das empresas comercializadoras de energia, especificar: as características da contagem, a leitura do contador e protocolo de confirmação, procedimentos da colocação em serviço do contador, processo de calibração de rotina e método de tratamento de dados perdidos.
9	**Responsabilidades de monitorização**	Atribuir as responsabilidades de reportar e registar os dados de energia, variáveis independentes e factores estáticos dentro da fronteira de medição durante o período de reporte.
10	**Precisão esperada**	Avaliar a precisão esperada associada à medição, recolha de dados, amostragem e análise de dados. Esta avaliação deve incluir medidas qualitativas e todas as medidas quantitativas possíveis do nível de incerteza nas medições e ajustes a usar no relatório de poupança planeado.
11	**Orçamento**	Definir o orçamento e os recursos necessários para a determinação da poupança, os custos iniciais estabelecidos e os custos contínuos durante o período de reporte.
12	**Formato do relatório**	Indicar como os resultados serão reportados e documentados. Deve ser incluída uma amostra de cada relatório.
13	**Garantia de qualidade**	Especificar os procedimentos de garantia de qualidade que serão empregues para os relatórios de poupança e todos os passos provisórios na preparação dos relatórios.

2.6. Contratos de desempenho energético

O contrato de desempenho energético (EPC) vincula um operador de um cliente, proprietário ou gerente (públicos ou privados) de edifícios residenciais, terciários ou industriais [9]. Caracteriza-se por um conjunto abrangente de medidas de eficiência energética, energias renováveis e de geração distribuída, onde normalmente é acompanhado pela garantia que a economia produzida num projecto será suficiente para o financiamento do custo total do mesmo. Um projecto típico de EPC é emitido por uma ESE e é composto pelos seguintes elementos:

- **Serviço-chave** – a ESE fornece todos os serviços necessários para projectar e implementar um projecto, desde uma auditoria inicial de energia através da monitorização a longo prazo até à verificação da poupança do projecto.
- **Medidas necessárias** – são criadas medidas essenciais que satisfaçam as necessidades de um dado projecto, que incluem a eficiência energética, energias renováveis, geração distribuída, conservação de águas e materiais sustentáveis e operações.
- **Financiamento do projecto** – a organização para o financiamento de projectos a longo prazo é realizado por uma companhia financeira de terceiros. Este financiamento é tipicamente uma forma de locação operacional ou municipal.
- **Garantias económicas do projecto** – a ESE oferece a garantia que as economias produzidas pelo projecto serão suficientes para cobrirem o custo de financiamento durante todo o período de vida do projecto [10].

Todos estes serviços são agrupados em custos do projecto e são reembolsados por meio da remuneração proveniente das poupanças geradas. A ESE encarrega-se de suportar os custos de aquisição e instalação de novos equipamentos e o cliente paga à ESE durante o tempo de vida do contrato, dividindo os proveitos resultantes do projecto. Estas empresas são ainda responsáveis por fazer manutenções periódicas aos equipamentos, tal como medir constantemente os consumos energéticos e as poupanças [10].

Um contrato deverá definir os valores de referência, âmbito, condições e interpretações. Especificar as soluções de financiamento, técnicas, obrigações e responsabilidades. Estabelecer um plano de execução do projecto de engenharia e de medição e verificação, o protocolo de partilha de poupança e o protocolo para resolução de litígios, activação de seguros e alterações de contrato [10]. Neste contexto, o plano M&V contribuirá para a fiabilidade do contrato e deverá desempenhar um papel decisivo no estabelecimento da relação entre cliente e ESE/financiador. Apesar do plano ser um documento definido pela ESE, este terá de ser aprovado por todos participantes envolvidos. Na figura 2.6 é apresentado um esquema sobre a relação entre cliente e ESE/financiador:
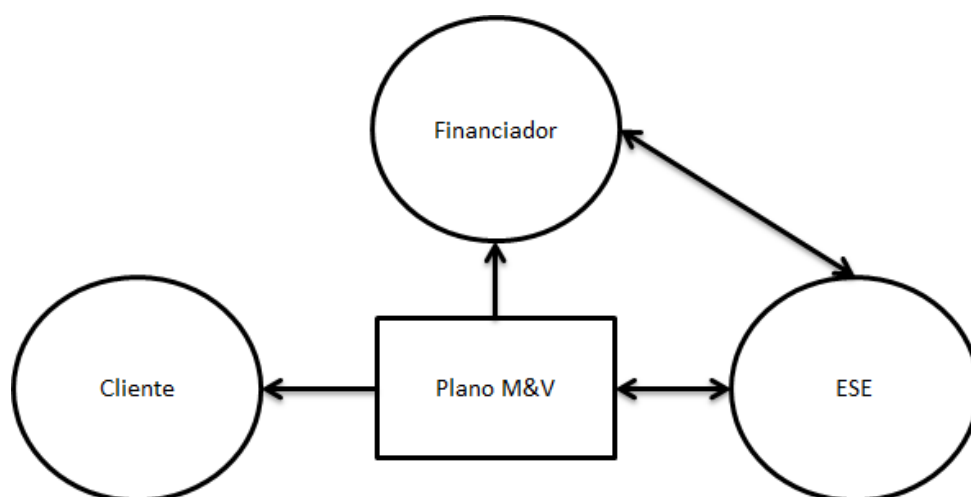
Figura 2.6 — Importância da medição e verificação na realização do EPC.

Na figura 2.7 pode-se verificar como se processa a distribuição dos proveitos resultantes do investimento nas medidas de racionalização de energia, durante e após o período do contrato ESE:
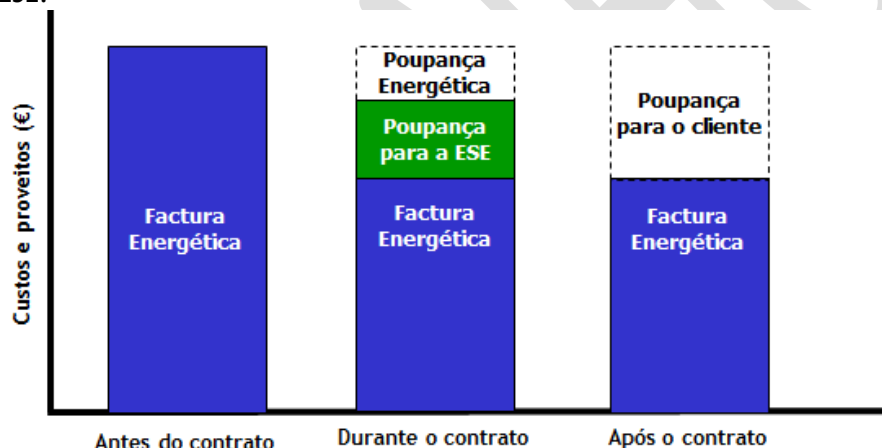
Figura 2.7 — Distribuição dos custos e proveitos [11].

O tempo de retorno do projecto depende da evolução das poupanças verificadas face às poupanças calculadas, isto é, se as poupanças verificadas forem superiores às calculadas o tempo de retorno é inferior ao planeado, podendo nesse caso existir um reajuste da duração do contrato. No caso das poupanças verificadas forem inferiores ao previsto o período do contrato pode ser estendido por mais anos [12].

Um contrato do tipo EPC deve incluir o valor do qual o cliente terá de pagar para cessar o contrato com a ESE em qualquer altura ou para que este possa ser revendido a terceiros.

No contrato ESE é contemplado:

- MRE a implementar (descrição e impacto).
- Previsão da energia evitada após a implementação da MRE.
- Condições de operação dos sistemas pré e pós alteração.
- Estimativa de consumo com base em condições de funcionamento acordadas entre a ESE e cliente.
- Plano e custos de M&V.

- Metodologia que será usada na verificação.
- Especificação de períodos e pontos de medição, caracterização das medidas.
- Orçamento para determinação das poupanças.
- Metodologia que será usada na verificação.
- Especificação de períodos e pontos de medição, caracterização das medidas.
- Orçamento para determinação das poupanças.

Assim, um projecto ESE terá de ser constituído por três fases, considerando que existe sempre uma fase anterior ao projecto, uma auditoria energética, esta não tem obrigatoriamente que ser efectuada pela ESE. Esta fase tem de ser paga pelo cliente, pois ainda não existe qualquer contrato nem é possível estabelece-lo, pois ainda não se sabe quais os benefícios que se podem obter na instalação do cliente [13].

Existem casos em que não é necessário existir uma auditoria preliminar ao projecto se o cliente possuir dados do sistema, se o sistema tiver sido alvo de um estudo detalhado ou tiver um projecto de implementação [14]. Se o projecto ESE apenas se limitar a trocar um equipamento ou parte deste não é necessária uma auditoria geral ao edifício.

De seguida é apresentado um esquema de um projecto ESE na figura 2.8:
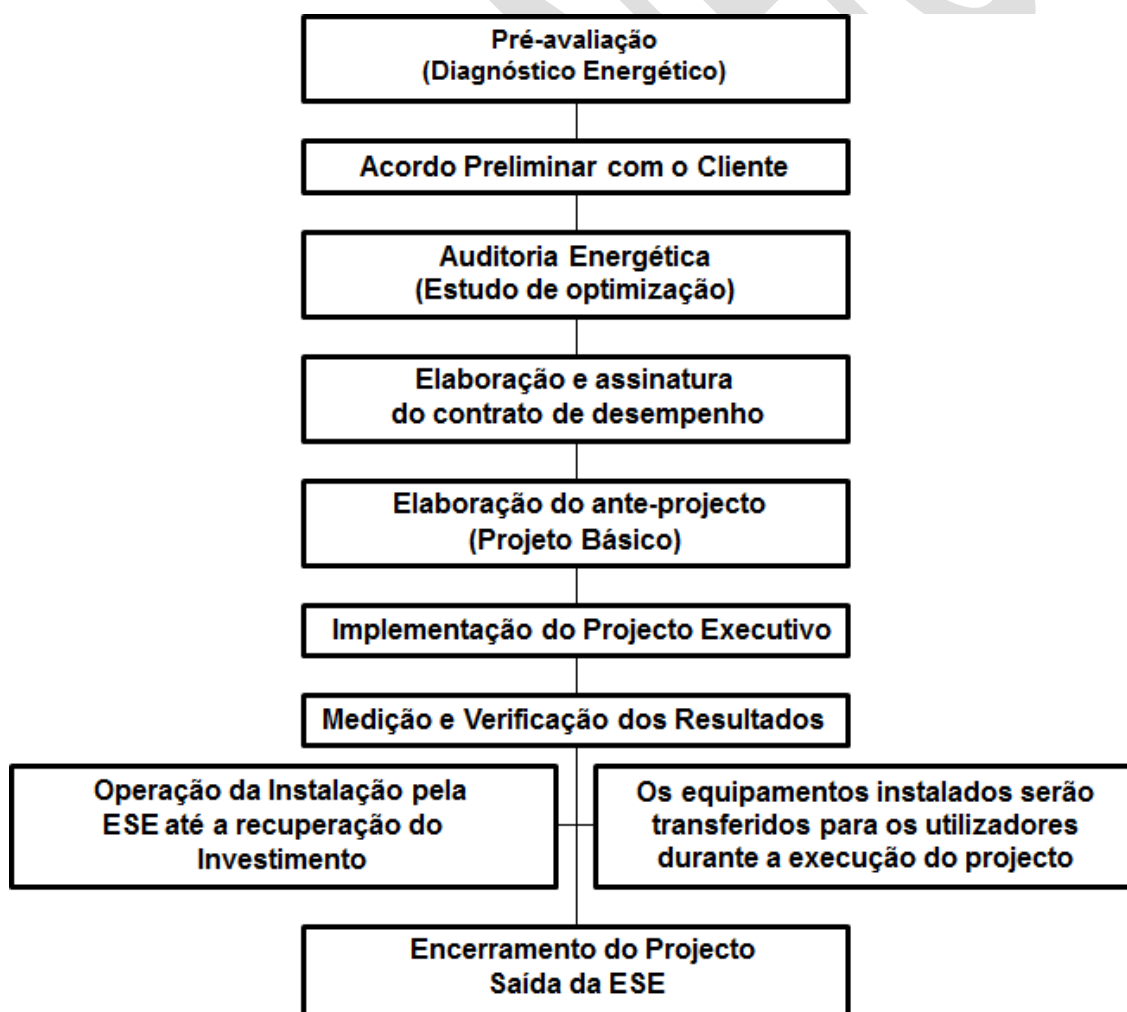
Figura 2.8 — Fases de um projecto ESE [15].

2.7. Incerteza na M&V

A medição de uma quantidade qualquer inclui sempre erros, isto porque nenhum instrumento de medição é 100% preciso. Os erros resultam das diferenças entre o consumo de energia observado e o verdadeiro, onde as poupanças de energia são tipicamente baseadas em valores medidos, que na realidade correspondem certa forma a estimativas.

No processo de determinação da poupança existem dois tipos de erro de medição bastante comuns (energia do período do consumo de referência e do período de reporte) e todos os erros existentes nos ajustes calculados [1].

As características do processo de determinação de poupança, que devem ser revistas para gerir a precisão ou a incerteza são:

- Instrumentação – os erros de equipamentos de medição são devidos à calibração, medição inexacta ou selecção incorrecta da instalação ou funcionamento do contador.
- Modelação – incapacidade de encontrar formas matemáticas que expliquem completamente todas as variações do consumo de energia (forma funcional inadequada, inclusão de variáveis irrelevantes ou exclusão de variáveis relevantes).
- Amostragem – a utilização de uma amostra da totalidade dos equipamentos ou acontecimento para representar a população inteira, induz em erro.
- Efeitos interactivos – efeitos que não estão completamente incluídos na metodologia de cálculo da poupança.
- Estimativa dos parâmetros – a estimativa de parâmetros induz em erro. Pode-se minimizar a variação entre o valor estimado do parâmetro e o seu verdadeiro valor através da revisão da concepção da MRE ou da inspecção da MRE após a sua instalação [1].

Os relatórios de poupança são os documentos que permitem determinar a poupança de energia e por isso devem denotar níveis razoáveis de incerteza. Por forma a garantir que a incerteza seja aceitável, é necessário gerir os erros inerentes à medição e análise de dados no acto de desenvolvimento e implementação o plano de M&V. Os erros relativos à medição têm origem na qualidade dos equipamentos de medição, técnicas de medição e a concepção do procedimento de amostragem. Os erros associados à análise de dados estão habitualmente associados pela qualidade dos dados de medição, bem como eventuais estimativas necessárias. O processo de redução dos erros, aumenta consideravelmente o custo da M&V e por esta razão, um valor de incerteza melhorada deverá ser justificada consoante os níveis exigidos e pela qualidade dos dados recolhidos [1].

Um dos desafios da M&V consiste em oferecer uma precisão adequada, assegurando que os custos sejam razoáveis. Na figura 2.9 é possível visualizar que o valor incremental das informações obtidas por medições e verificações adicionais será num determinado ponto inferior ao custo necessário para a sua obtenção:
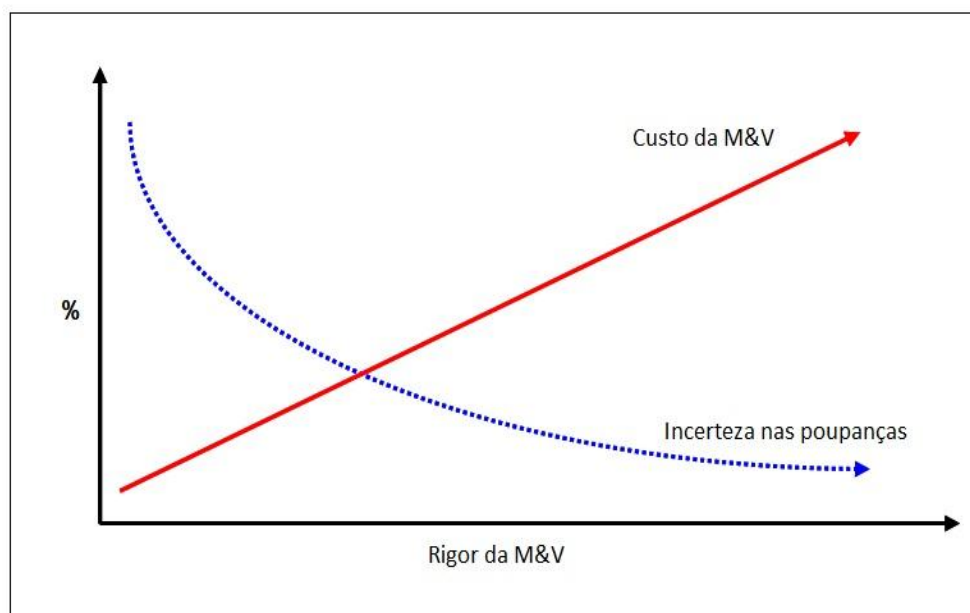
Figura 2.9 — Lei dos proveitos decrescentes da M&V [7]